Transport Canada
Development

Transports Canada
Développement

TP 7490E

Appraisal of Barge Intact Stability Standards

Summary Report

Prepared for
Transportation
Development Centre
Transport Canada

by
Robert Allan Ltd.

JULY 1984

CA1
DTC 851
84
A61S
c.2

Canada

ROBERT ALLAN LTD.
NAVAL ARCHITECTS

TP 7490 E

APPRAISAL OF BARGE INTACT STABILITY STANDARDS

** SUMMARY REPORT **

Project 34-80
July 1984

by
Robert L. Fidelman, P. Eng.
Robert Allan Ltd.
Vancouver, B. C.

Library and Information Centre / Centre de Documentation (GSLA)
RECEIVED - REÇU LE
JUL 21 1987
Transport Canada / Transports Canada

DISCLAIMER: The contents of this report reflect the views of the contractor and not necessarily the official view or opinions of the Transportation Development Centre of Transport Canada.

Ce document est également disponible en français:
"Evaluation des normes de stabilité intacte pour barges"
Rapport sommaire TP 7490F

REPORT DOCUMENTATION FORM

1. Transport Canada Report No.	2. TDC Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP 7490 E	4273, 4276	

4. Title and Subtitle	5. Report Date
Appraisal of Barge Intact Stability Standards Summary Report	July 1984
	6. Performing Organization Report No. 34-80

7. Author(s)	8. Transport Canada File No.
Robert L. Fidelman	D 1460-160

9. Performing Organization Name and Address	10. DSS File No.
Robert Allan Ltd. 1380 Burrard Street Vancouver, B.C. V6Z 2H3	09SD.T8200-0-0519
	11. DSS or Transport Canada Contract No. 1SD80-00104

12. Sponsoring Agency Name and Address	13. Type of Report and Period Covered
Transportation Development Centre (TDC) 200 Dorchester Blvd. West Suite 601, West Tower Montreal, Quebec H2Z 1X4	Summary
	14. Sponsoring Agency Code

15. Supplementary Notes	16. TDC Project Officer
Summary of "Appraisal of Barge Intact Stability Standards" 1984, TP 7489	I.M. Bayly

17. Abstract

The relevant stability literature is reviewed, both for vessels in general and for barges. Barge casualty records are reviewed and stability-related incidents examined.

A comparison is made of barge stability standards of the United States, Great Britain, and Canada, and their bases analyzed. It is found that a significant number of barges fail to meet the level of the 1977 Canadian Interim Standard.

It is concluded that capsize safety is not yet amendable to accurate mathematical treatment. However, approaches to solutions have been made, and several modes of capsize have been identified. Inadvertent taking on of water may be a contributing factor in some capsizes. Due to the small number of stability related casualties, the need for a Canadian barge intact stability criterion at this time is questioned. However, desirable qualities of such a criterion are given. A two-level approach is suggested. Special consideration is recommended for instances where the consequences of capsize would be severe. Areas for further investigation are set forth.

18. Key Words	19. Distribution Statement
Barges Stability	Limited number of copies available at TDC.

20. Security Classification (of this report)	21. Security Classification (of this page)	22. No. of Pages	23. Price
Unclassified	Unclassified		-

TDC CDT 79-005

FORMULE DE DOCUMENTATION POUR RAPPORT

1. N° du rapport Transports Canada	2. N° de l'étude — CDT	3. N° de catalogue du destinataire
TP 7490 E	4273, 4276	

4. Titre et sous-titre	5. Date du rapport
Appraisal of Barge Intact Stability Standards Summary Report	juillet 1984
	6. N° du rapport de l'organisme executant 34-80
7. Auteur(s) Robert L. Fidelman	8. N° de dossier Transports Canada D 1460-160
9. Nom et adresse de l'organisme exécutant Robert Allan Ltd. 1380 Burrard Street Vancouver, B.C. V6Z 2H3	10. N° de dossier — ASC C9SD.T8200-0-0519
	11. N° de contrat — ASC ou Transports Canada 1SD80-00104
12. Nom et adresse de l'organisme parrain Centre de développement des transports (CDT) 200 ouest, boul. Dorchester Suite 601, tour ouest Montréal, Québec H2Z 1X4	13. Genre de rapport et période visée Sommaire
	14. Code de l'organisme parrain
15. Remarques additionnelles Le résumé de "Appraisal of Barge Intact Stability Standards" 1984, TP 7489 E	16. Agent de projet — CDT I.M. Bayly

17. Résumé

Après une recherche documentaire sur la question de la stabilité des embarcations en général et des barges en particulier, ce rapport se penche sur les statistiques concernant les naufrages de barges et analyse ceux liés à une perte de stabilité de ces bateaux.

Il établit une comparaison des normes afférentes en vigueur aux Etats-Unis, en Grande-Bretagne et au Canada et analyse les critères sur lesquels elles sont fondées. Il montre aussi qu'un nombre important de barges ne satisfont pas à la norme canadienne provisoire de 1977.

Le rapport conclut que le facteur sécurité en matière de stabilité des barges n'est pas encore justiciable de traitement mathématique exact. Néanmoins, il présente un certain nombre de solutions approchées et met en évidence divers facteurs, les voies d'eau non détectées, par exemple. Il met en doute le besoin de définir dès maintenant une norme de stabilité, le nombre de naufrages attribuables à une perte de stabilité étant faible. Néanmoins, il fixe certains objectifs souhaitables à cette norme, pour l'élaboration de laquelle il suggère une approche en deux temps. Il s'agirait d'abord de réglementer les cas où les conséquences d'un chavirement seraient particulièrement sérieuses. Enfin, il met en évidence les secteurs méritant une recherche plus approfondie.

18. Mots-clés	19. Diffusion
Barges Norme de stabilité	Le CDT dispose d'un nombre limité d'exemplaires.

20. Classification de sécurité (de ce rapport)	21. Classification de sécurité (de cette page)	22. Nombre de pages	23. Prix
non-classifié	non-classifiée		-

CDT/TDC 79-005

CONTENTS

		Page Number
SECTION 1.	INTRODUCTION	1
SECTION 2.	PROCEDURE	1
SECTION 3.	LITERATURE REVIEW	1
	3.1 General Stability Considerations	1
	3.2 Barge Stability	2
SECTION 4.	CANADIAN BARGE FLEET	4
	4.4 Dimensions and Form Coefficients	4
SECTION 5.	BARGE CASUALTIES	4
SECTION 6.	STANDARDS OF INTACT STABILITY	5
	6.1 Measures of Stability	5
	6.2 National Criteria	5
	6.3 Evaluation of National Criteria	6
SECTION 7.	CONCLUSIONS	8
SECTION 8.	RECOMMENDATIONS	9

TABLE 1. EXAMPLES OF CANADIAN BARGES
TABLE 2. NUMBER OF BARGE CASUALTIES BY TYPE AND YEAR

FIGURE 1. RIGHTING ARM CURVE
FIGURE 2. GM-FREEBOARD CRITERION AND LOAD LINE REGULATIONS
FIGURE 3. DYNAMIC STABILITY OF SELECTED BARGES

REFERENCES

APPENDIX - CANADIAN INTERIM BARGE STABILITY STANDARD

SECTION 1 - INTRODUCTION

This report covers work done under a contract with the Transportation Development Centre (TDC), Transport Canada. The project objective, as stated in the TDC Work Statement of 10 December 1980, is:

> "To provide a sound basis, combining scientific analysis and empirical performance criteria, for the development of revised standards of intact stability for barges operating in Canada."

SECTION 2 - PROCEDURE

A search was conducted of the relevant technical literature.

Next a survey of the Canadian barge fleet was made. A data base was compiled of about 400 barges currently operating in Canada. The Canadian fleet, at the time of writing, numbers approximately 850.

Barge casualty data was gathered from several sources, including Canadian Coast Guard computer printouts and Robert Allan Ltd. files.

Stability criteria from several national authorities, IMO, and other sources were reviewed and analyzed.

SECTION 3 - LITERATURE REVIEW

3.1 GENERAL STABILITY CONSIDERATIONS

At present there is no generally accepted method for predicting the safety of a vessel against capsize.

Using sea spectrum theory, several researchers have proceeded by writing the equations of roll motion, solving them, then examining the solution for areas of instability. This "deterministic" approach has met several difficulties, stemming both from deficiencies in the mathematics of coupled nonlinear systems and from inadequate understanding of the physical phenomena.

A second avenue explored is the variation in a vessel's restoring moment in a seaway. It was found that a particularly dangerous situation exists for some ships in a following or quartering sea.

Time domain solutions, which may be termed "model testing by computer", output a time history of the vessel's behaviour. Accuracy of the output depends on how well the assumed input parameters reflect the real-life situation.

The above three approaches (equation of motion analysis, variation in restoring moment, and time domain simulation) all depend on a statistical description of the sea environment. To obtain a reliable and realistic description, long term monitoring of the ocean at the site of interest is required.

A further step was taken by Odabasi [1]. He showed that, although an explicit solution to the equation of motion is still unknown, information concerning the stability of its solution can be obtained.

3.2 BARGE STABILITY

Several authors have addressed the specific problem of barge stability.

1. **Glosten and Heyrman [2]**

   The authors observed that:

   > "This inherent, high degree of stability makes [the] question of proper stability criteria for barges somewhat academic. However the authors are of the opinion that it is essential where inadequate stability may be a problem, that there should be no relaxing of the criteria which will ensure a safe voyage."

2. **Young [3] and Snyder [4]**

   A series of experiments with barge models in regular and irregular beam seas was conducted at the University of Michigan for the U.S. Coast Guard. Results were generally inconclusive.

3. **Bovet, Johnson and Jones [5]**

   The authors, all staff members of the U.S. Coast Guard, commented that the U.S.C.G. stability criterion for deck cargo barges lacks the basis of adequate understanding of the capsize phenomenon.

   > "What is the relationship between freeboard and stability for barges? How much intact stability does a barge require? These questions lie unanswered."

4. **Kossa [6]**

   Kossa reviewed the U.S.C.G. and IMO criteria. While little new knowledge was presented, the paper examined barge stability from a practical viewpoint.

5. **Talbot [7]**

In this theoretical examination of deck cargo barges loaded with aggregate, Talbot presented righting arm curves for a variety of assumed loading conditions. The decrease in dynamic stability with increasing draft was illustrated.

6. **Ward [8]**

In covering selected topics concerning Canadian west coast barges, the author devoted one section to barge stability. Ward refers to the "extremely low incidence of capsize in both coastal and offshore barge operations", even though

> "it can be seen that four of the [five] barges meet the USCG criterion, none of them fully comply with the U.K. criterion, and only three meet the Canadian Interim Standard."

7. **Ward [9]**

In this subsequent paper, Ward presented the righting arm curves for four barges. Two of the barges failed to meet the the Canadian Interim Standard.

8. **Hutchison [10]**

Appendix 1 of [10] analyzed the proposed voyage of a barge from Virginia to Oregon. Factors considered include route, wave climatology, seamanship, and vessel response. Results were expressed as the probability of exceeding certain response values.

9. **Jones and Turner [11]**

The observation is made that,

> "With ordinary ships, the criteria have been built up from analysis of ship losses. This method cannot be used here since, as far as we are aware, there have been no losses, or, at least, insufficient to be used as the basis of deducing suitable criteria."

10. **Szajnberg, Greiner, Chen, and Rawstron [12]**

The authors discuss various problems encountered in the transportation of large offshore structures on deck barges. Particulars are given for 20 large barges. Of particular interest are the requirements of various regulatory bodies. A comparison of criteria based on wind speed is given; it is shown that some criteria are very sensitive to the assumed wind speeds.

11. **Hutchison and Nichol [13]**

Further to Hutchison's paper on prevoyage risk analysis [10], a barge was fitted with instrumentation to monitor its motions during a voyage. Accelerometer readings were transmitted to the tug's pilothouse to provide real-time barge motion monitoring. The authors conclude that the monitoring system "appears to have been an effective aid in reducing the severity of motions...".

SECTION 4 - CANADIAN BARGE FLEET

4.4 DIMENSIONS AND FORM COEFFICIENTS

A list of 30 Canadian barges appears in Table 1.

Generally one would expect to find an increase in stability in barges with:

- decreased L/B,
- increased B/D,
- decreased DWT/Δ ,
- decreased C_b,
- decreased d/D (i.e. increased freeboard).

SECTION 5 - BARGE CASUALTIES

Data on barge casualties was drawn mainly from that provided by the Canadian Coast Guard. Table 2 shows the number of casualties by type and by year. It is difficult to draw any conclusions from the data available. Several omissions, inconsistencies and inaccuracies are apparent in the reported data.

Two tentative trends in the 15 stability incidents may be observed. First, in many of the incidents, taking on water may have been a factor. This appears to have been the case for at least six casualties and may have been a factor in the others.

Secondly, the barges in the list are generally older vessels. Average age at time of casualty is 15 years. Due to the typically rigorous service of barges, this could be further evidence for the presence of water on board from leakage or local structural failure.

From discussions with those involved in building, operating, and repairing barges, there appears to be a consensus that most, if not all, capsizes involve taking on water.

SECTION 6 - STANDARDS OF INTACT STABILITY

6.1 MEASURES OF STABILITY

Virtually all measures of vessel intact stability are based on properties of the righting arm (GZ) curve, Figure 1. A vessel's GZ is known as its statical stability.

Metacentric height (GM) has been used to indicate vessel stability since the 18th century [14]. GM can be termed "initial stability", since it is a measure of a vessel's ability to resist heeling moments from the upright condition.

"Dynamic stability", e_r, is the area under the GZ curve from $\theta = 0^\circ$ to θ_m, where θ_m is the angle of maximum GZ. This area is a measure of energy required to heel the vessel to θ_m.

Intact stability (GM), statical stability (GZ), and dynamic stability (e_r) are various measures of a vessel's ability to resist heeling.

A still evolving class of measures of stability is based on a probabilistic approach. Examples of such measures include the probability of a vessel capsizing in a given life span (e.g. 20 years), the probability of capsize for a single voyage, and the probability of exceeding a certain angle of heel, either in the vessel's life span or in a single voyage. The means for accurately calculating such probabilities are not yet at hand. Even if they were, there is still the question of what constitutes an acceptable risk level.

6.2 NATIONAL CRITERIA

Stability criteria for barges have been established by the United States [15] and Great Britain [16], while Canada has issued an interim standard [17].

6.2.1 United States

The U.S. Coast Guard [15] uses a two part standard to assess barge stability. The first part, known as the "weather criteria", governs minimum metacentric height. The second part, "dynamic stability criteria", establishes minimum dynamic stability up to the angle of maximum righting arm as 15 ft deg (.0798 m rad).

6.2.2 Great Britain

Like the United States, Great Britain uses a stability standard [16] which considers both heeling under a wind load and dynamic stability. Wind pressure is assumed to be 75 kg/m^2.

The dynamic stability criteria require areas under the righting arm curve of 0.08 m rad up to the angle of maximum GZ, and 0.03 m rad from 30 degrees to 40 degrees, or to the angle of downflooding if this is less than 40 degrees.

6.2.3 Canada

The Canadian Interim Standard applies to cargo barges which are required to be assigned loadlines and constructed after September 1, 1977 [17]. It requires that the minimum dynamic stability, up to the angle of maximum GZ, be 0.08 metre radians. The U.S. and Canadian standards are virtually identical.

6.3 EVALUATION OF NATIONAL CRITERIA

The criteria examined above fall into two broad types: those which specify a minimum initial stability (GM), including weather and freeboard criteria, and those which specify a minimum dynamic stability (e_r).

6.3.1 Weather Criteria

The USCG weather criterion has a good degree of rationality; there is a notable relationship between terms in the criterion's equation and forces in the real world. The British weather criterion is more severe than that of the USCG for barges under 186 m in length.

6.3.2 GM - Freeboard Criteria

An anlysis of the GM - freeboard criteria is shown in Figure 2. This analysis considered both the Canadian and U.S. criteria. This criterion reduces essentially to a freeboard criterion. Figure 2 can be viewed as the minimum required freeboard for a given D and B/D. It is therefore appropriate to compare this criterion with freeboards as determined by the Load Line Regulations [18], shown as dashed lines of Figure 2.

Figure 2 indicates that smaller barges are governed by the GM-freeboard criterion. Larger barges tend to be governed by the Load Line Regulations.

6.3.4 Static and Dynamic Stability

A vessel's curve of righting arms has been an accepted measure of intact stability since Rahola [19]. This type of criterion, however, is open to several criticisms. Among them are:

1. Rahola's work was based on a statistical sample of vessels. The relationship to physical forces is undefined. The predictive value of such a criterion is therefore questionable.

2. The criteria concern the curve of righting arms, not that of righting moments. This would be acceptable if all heeling moments were shown to be proportional to displacement, but such is not the case.

3. The allowable probability of capsize is undefined. Safety factors are implicit in the regulations, but not stated explicitly.

Let us now consider the specific regulations of barge dynamic stability reviewed above. All three national criteria specify a minimum e_r of .08 m rad up to θ_m. To examine how well barges in practice would meet the .08 m rad requirement, values for GZ and e_r were calculated for each of the 30 example barges from Table 1 (see Figure 3). Notable from Figure 3 is the large number of barges which fail to meet the .08 m rad minimum. Two observations are relevant here:

1. The proportions of various barge types in the sample are not those of the Canadian fleet. Most probably, the portion of the fleet which would not meet the standard is greater than that indicated by Figure 3.

2. The U.S. regulations and the Canadian Interim Standard apply only to barges requiring Load Line assignment. The British regulations make no reference to Load Line assignment.

Of the three national criteria reviewed above, only the U.S. regulations mention the possible buoyant effects of deck cargo. The benefits to stability of buoyant cargoes secured on deck are clearly recognized by IMO [20].

6.3.5 Owner's Stability Criteria

Some barge owners set their own standards to assure safety in barge operations. Many chip scows have painted steel plates welded to the four quarters of the barge hull. The lower edge of each plate defines minimum freeboard for voyages to outside waters such as the west coast of Vancouver Island. The upper edge of each plate defines freeboard for the sheltered waters of Georgia Strait.

Experience plays a major role in the development of judging when a barge is "safe". Owners have learned that loading bulk cargoes in high peaks leads to decreased stability. Efforts are made to avoid pockets where pools of water may accumulate. Tugboat skippers, while perhaps not conversant with the higher mathematics of stability theory, often have decades of operating experience from which to judge the safety of a tow.

For large barges carrying heavy loads offshore, a naval architect is often consulted to evaluate stability. In such operations, the severe consequences of capsize warrant all reasonable efforts by the owner to insure adequate stability. Too much stability can also be a problem in these cases.

SECTION 7 - CONCLUSIONS

1. A desirable stability criterion would set a maximum limit for the probability of capsize, given vessel particulars, environmental conditions, and time span considered.

2. At present there is no reliable mathematical method to predict such a probability, nor is there any standard for an acceptable level of risk.

3. Roll damping is an important factor in capsize safety. Damping coefficients appear to be nonlinear with roll angle.

4. The behaviour of water on deck is an important factor in barge capsizing.

5. The quantity, nature, and stowage of deck cargo has a significant effect on capsize safety.

6. The reported incidence of capsize among Canadian barges is low. In a recent seven-year period, 15 capsizes were reported out of a fleet of about 850 barges. The consequences of a barge capsize are often less severe than those of a ship. Often a capsized barge is re-righted.

7. Barge capsize reports compiled by the Ministry of Transport usually lack significant data such as barge beam, depth, draft, and the amount and vertical centre of gravity of cargo aboard.

8. Currently used barge stability criteria are based on wind heeling moment, minimum GM, and minimum dynamic stability.

9. Required minimum GM alone is generally not sufficient for a capsize safety criterion.

10. The current Canadian Interim Standard would impose significant restrictions on the cargo carrying ability of some barges.

11. Major barge operators utilize knowledge gained from experience to regulate barge safety. This knowledge may be formally explicit or tacit.

SECTION 8 - RECOMMENDATIONS

1. Further consideration should be given to the need at this time for a Canadian barge intact stability criterion. Of those casualties that do occur, the large majority involve non-Load Line voyages and the provisions of the Canadian Interim Standard (or of the USCG criteria) would not apply in any case.

2. If an intact stability criterion is deemed desirable, consideration should be given to its inherent degree of complexity. Complexity may be a necessary condition for making the criterion both complete and flexible. For operating personnel, however, a criterion should be easy to apply.

   One approach is to have a "two level" criterion. One level would be for naval architects and others engaged in design and analysis. A second level would provide simplified guidelines for use by operating personnel on a routine basis. Desirable qualities of each level include:

   First Level Criterion

   a. It should be rational, i.e., based on an understanding of the physical phenomena involved.

   b. Limitations and assumptions behind the criterion should be clearly stated and available to interested parties.

   c. The criterion should be periodically evaluated. Minimum acceptable probabilities of capsize should be established.

   d. The various factors known to significantly influence capsize behaviour should be accounted for. These include not only initial stability and righting moment, but also the effects of water on deck, water in the bilges, deck cargo, and roll damping.

   e. The various modes of capsize should each be guarded against. These include $GM \leq 0$, loss of righting moment on a wave crest, resonant rolling, and heeling moment from water on deck and in the hull.

   f. The criterion should not require greater stability than has already proven adequate from satisfactory operating experience.

   Second Level Criterion

   a. Scope of application should be clearly stated. Any limits as to barge type or size, nature of cargo, stowage arrangements, area of operation, time of year, etc. should be set forth.

   b. Relevant quantities should be readily observable by operating personnel.

c. The procedure for applying the criterion should take little time. In short, it should be simple, easy, and quick to use.

3. Special consideration should be given to barge voyages where the consequences of capsize would be severe.

4. Areas in need of further investigation include:

a. The effect of towline forces on barge stability.

b. The effect of unintended water in the barge or her cargo.

c. The damping coefficients of barges at large angles of roll.

d. A wider survey of the intact stability of barges currently operating, including determination of righting moment curves.

e. The effects of shipping water on deck, for various barge types and cargo configurations.

f. The desirability of calculating righting moments in waves vs. still water.

g. The effects of seamanship on barge capsize safety.

h. The effects of large values of stability parameters on barges. For instance, do accelerations increase to an undesirable level?

* * *

BARGE NO.	TYPE	CARGO	DIMENSIONS, M						
			LOA	BEAM	DEPTH	DRAFT	DWT,T	DISPL,T	KG,M
1	Deck	Log	138.13	29.26	8.23	6.10	17374	21398	13.62
2	Deck	Log	120.78	26.82	7.62	5.79	12941	16101	12.81
3	Deck	Log	110.64	24.38	7.32	5.67	10727	13191	11.22
4	Deck	Log	110.95	24.38	7.01	5.18	9898	12001	11.18
5	Deck	Log Bundle	107.66	24.00	7.00	5.35	9437	11887	9.43
6	Deck	Log	112.47	23.16	7.16	5.18	9246	11679	10.35
7	Deck	Log	105.19	21.34	6.55	5.03	7849	9779	9.58
8	Deck	Limerock	109.05	24.38	7.62	6.02	11532	13592	8.78
9	Deck	Limerock	109.73	22.86	7.62	5.58	9784	11807	8.95
10	Deck	Limerock	57.91	15.24	4.27	3.51	2267	2772	5.99
11	Tank	Oil	82.30	18.29	6.10	4.88	4927	6004	3.66
12	Tank	Chemicals	83.06	19.51	6.71	4.57	4580	5950	3.75
13	Covered Deck	Newsprint	110.64	24.99	6.78	4.57	6533	9073	9.00
14	Covered Deck	Newsprint	109.12	24.99	6.78	4.57	6533	9156	8.81
15	Covered Deck	Newsprint	108.51	23.77	6.71	4.34	6096	8511	8.72
16	Covered/Hopper	Cement	50.75	14.63	4.57	3.35	1560	2127	5.98
17	Covered Deck	Pulp/Paper	61.57	14.63	3.66	2.59	1376	1923	5.34
18	Deck	Salt	88.39	20.73	6.76	5.08	6893	8026	8.88
19	Deck	Bulk	63.40	16.46	5.18	4.66	3628	4284	7.52
20	Deck	Sand/Lime	65.84	17.07	4.88	3.73	3225	3855	7.35
21	Deck	Gravel	60.96	15.24	2.95	2.27	1450	1909	3.66
22	Hopper	Clinker	80.16	18.90	6.10	4.74	4785	6268	5.50
23	Hopper	Cement	57.91	14.02	4.88	3.66	2118	2590	4.55
24	Deck	Railcar	103.33	19.51	5.03	2.44	2866	4303	6.10
25	Deck	Railcar	80.47	14.02	3.96	2.44	1632	2174	5.40
26	Deck	Chip	63.09	15.24	3.66	3.11	2311	2768	7.14
27	Deck	Chip	63.58	15.24	3.66	3.11	2307	2827	7.05
28	Deck	Chip	53.34	14.63	3.43	2.92	1768	2132	6.96
29	Deck	Chip	51.21	14.02	3.28	2.80	1560	1888	6.69
30	Deck	General	60.96	14.63	2.95	1.83	1425	1767	4.72

TABLE 1. EXAMPLES OF CANADIAN BARGES (SOURCE: ROBERT ALLAN LTD.)

TYPE OF CASUALTY	75	76	77	78	79	80	81	82	TOTAL
Collision	5	7	7	9	13	10	15	5	71
Grounding	4	2	2	3	2	2	13	2	30
Sinking	2	1	4	5	1	5	5	0	23
Capsize/stability	4	2	2	1	2	0	3	1	15
Fire, explosion	0	0	3	0	0	1	1	1	6
Weather or ice damage	0	1	0	1	0	1	2	0	5
TOTAL	15	13	18	19	18	19	39	9	150

NOTE: Period covered is February 8, 1975 to June 7, 1982. Source: Transport Canada, Canadian Coast Guard.

TABLE 2. NUMBER OF BARGE CASUALTIES BY TYPE AND YEAR

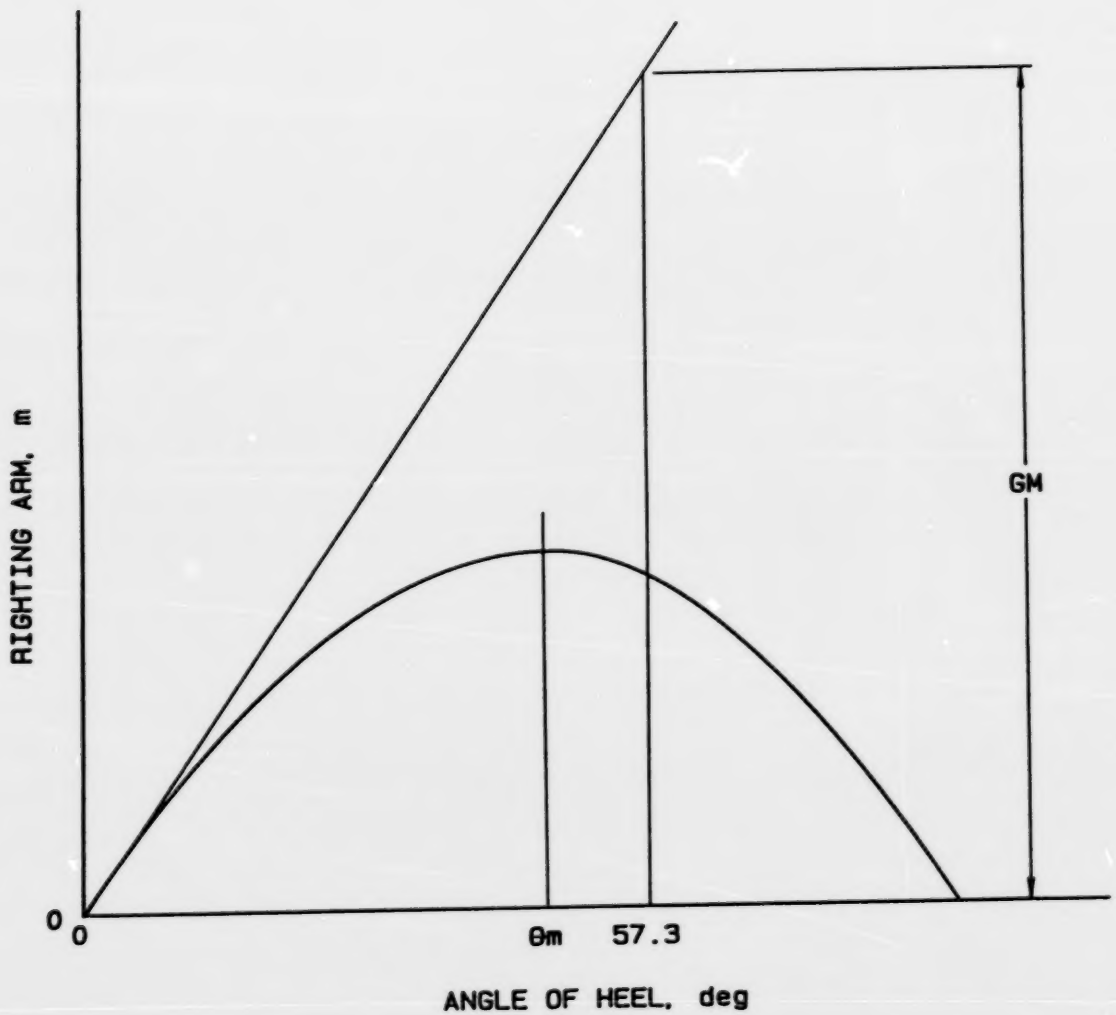

FIG. 1. RIGHTING ARM CURVE

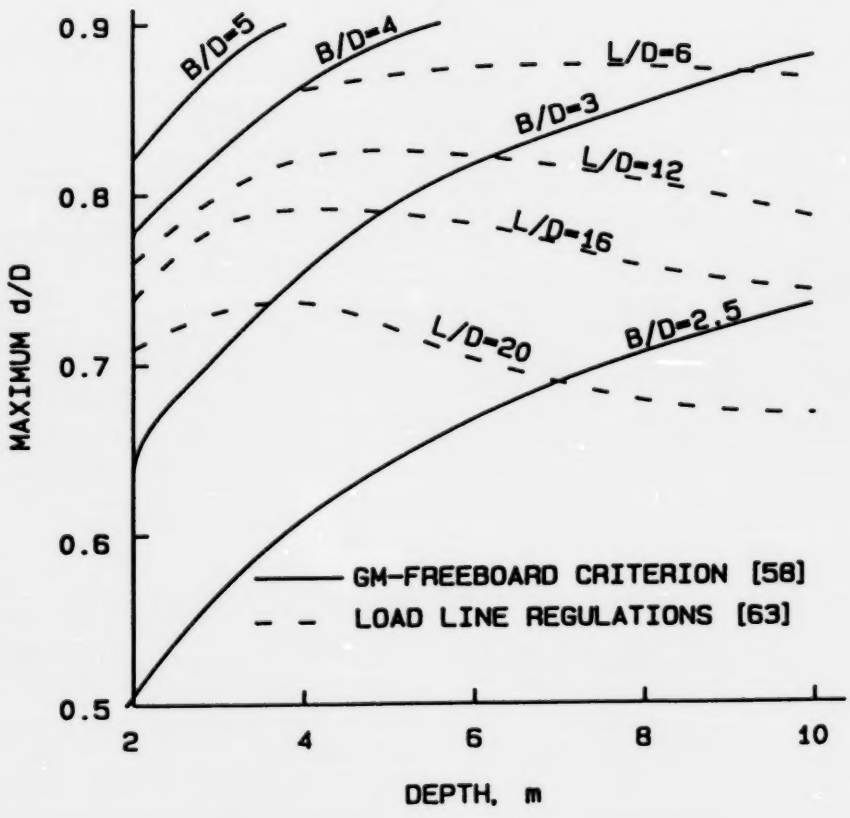

FIG. 2. GM-FREEBOARD CRITERION AND LOAD LINE REGULATIONS

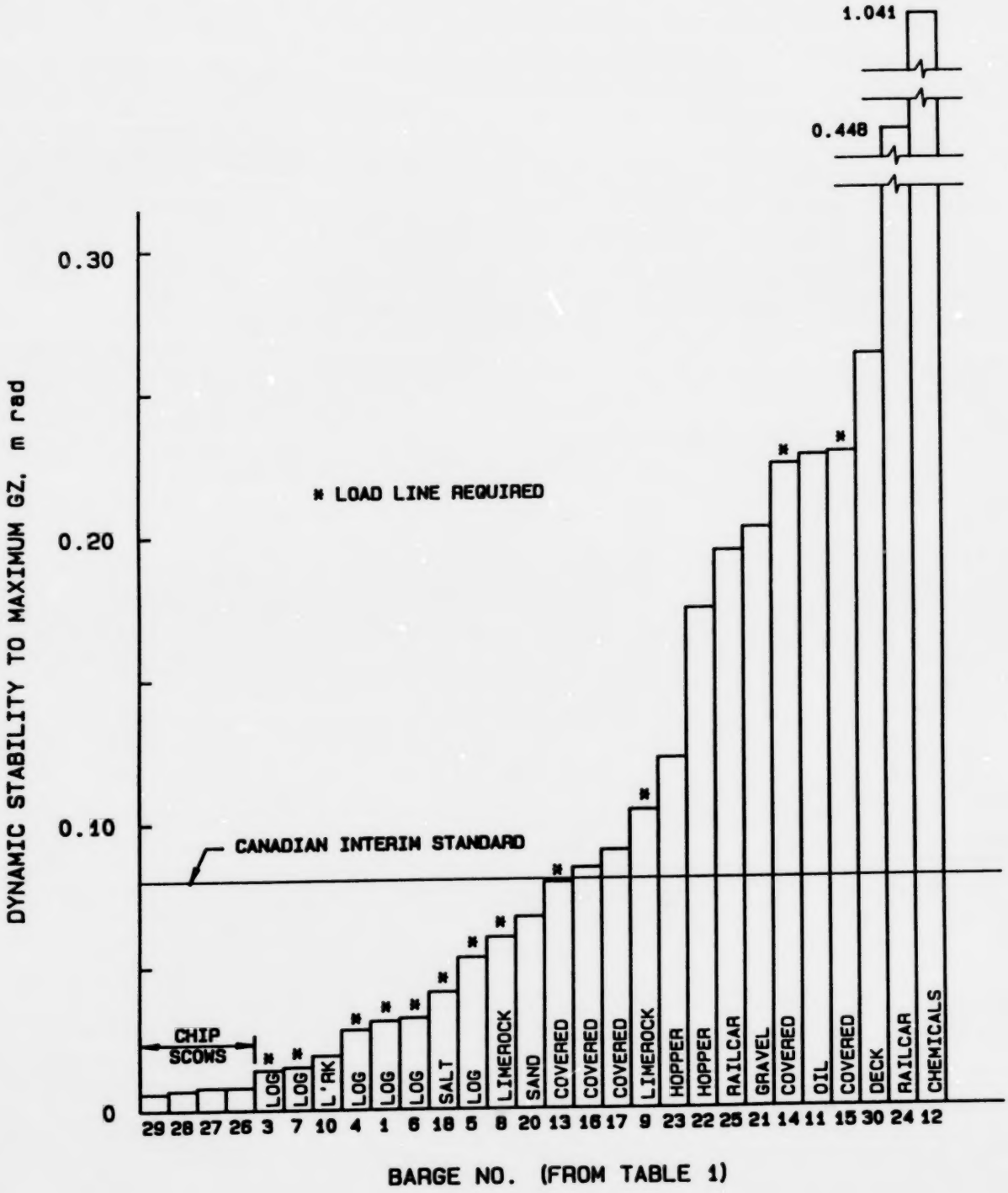

FIG. 3. DYNAMIC STABILITY OF SELECTED BARGES

REFERENCES

1. Odabasi, A. Y., "Ultimate Stability of Ships", Transactions, The Royal Institution of Naval Architects, Vol. 119, 1977.

2. Glosten, L. R. and Heyrman, J. S., "Offshore Barge Transportation on the Pacific Coast", Transactions, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Vol. 73, 1965.

3. Young, Bernard J., "The Behavior of a Deck Cargo Barge in Extreme Beam Seas", U. S. Coast Guard, Washington, March 1972.

4. Snyder, Eric D., "An Investigation of Deck Cargo Barge Stability in Extreme Irregular Beam Seas", U. S. Coast Guard, Washington, February 1974.

5. Bovet, D. M., Johnson, R. E., and Jones, E. L., "Recent Coast Guard Research into Vessel Stability", Marine Technology, Vol. 11, No. 4, October 1974.

6. Kossa, Miklos M., "Stability and Roll Motions of Ocean Barges", 4th International Tug Convention, Thomas Reed Industrial Press Ltd., London, 1976.

7. Talbot, W. E. G., and Forsyth, D. G., "Stability of Aggregate Barges", B. C. Towboat Conference, Victoria, B. C., March 18, 1978.

8. Ward, Thomas C., "The Ubiquitous Barge: Some Trends in Barge Design and Construction in British Columbia", Marine Technology, Vol. 17, No. 1, January 1980.

9. Ward, Thomas C., "The Other End of the Towline: A Review of Current Thinking in Barge Design and Construction", Fourth B. C. Towboat Industry Conference, Victoria, B. C., March 20 - 23, 1980.

10. Hutchison, Bruce L., "Risk and Operability Analysis in the Marine Environment", Transactions, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Vol. 89, 1981.

11. Jones, J. Mervyn and Turner, J. E., "Assessment of Intact Stability of Cargo Barges", 7th International Tug Convention, Thomas Reed Publications Ltd., London 1982.

12. Szajnberg, Rubin, Greiner, William, Chen, Henry H. T. and Rawstron, Philip, "Practical Design Approaches for the Analysis of Barge Performance in Offshore Transportation and Launching Operations", Transactions, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Vol. 88, 1980.

13. Hutchison, Bruce L. and Nichol, Robert E., "Experience with Real-Time Motion Monitoring on the Barge 'Foss 245'", Marine Technology, Vol, 20, No. 1, January 1983.

14. Bird, H. and Odabasi, A. Y., "State of Art: Past, Present, and Future", International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles, University of Strathclyde, Glasgow, 1975.

15. "Stability Criteria for Barges", Merchant Marine Technical Note No. 3-69, U. S. Coast Guard, Washington, 21 November 1969.

16. "Stability of Pontoon Barges", Marine Division Memorandum No. PO/S 87/80, Department of Trade, London, October 1980.

17. "Interim Standard for the Intact Stability for Unmanned Cargo Barges", Canadian Coast Guard, Ottawa, September 15, 1977.

18. "Load Line Regulations (Sea)", Canada Shipping Act 37, Consolidated Regulations of Canada.

19. Rahola, J., "The Judging of the Stability of Ships and the Detemination of the Minimum Amount of Stability", Doctoral Thesis, University of Finland, Helsinki, 1939.

20. "Recommendation on Intact Stability for Passenger and Cargo Ships Under 100 metres in Length", Inter-Governmental Maritime Consultative Organization, London, 1975.

* * *

APPENDIX - CANADIAN INTERIM BARGE STABILITY STANDARD

INTERIM STANDARD : STAB. 8

STANDARD FOR THE INTACT STABILITY OF UNMANNED CARGO BARGES

(1) The provisions of this standard are applicable to unmanned cargo barges that:

(a) are required by standard Load 2 to be assigned loadlines; and

(b) are constructed after 1 September 1977

(2) This standard does not apply to Crane, Derrick or Hopper Barges.

(3) Except where otherwise exempted by the Board, the owner of a new barge shall:

(a) arrange to have an inclining experiment carried out in the presence of and to the satisfaction of a marine surveyor;

(b) submit to the Board the developed stability data for the operating conditions of the barge, including the light, loaded and worst operating conditions; and

(c) include in the stability submission, the basic data required by section 2 of standard STAB. 2.

(4) Except where otherwise provided in Section 5 of this standard, the intact transverse stability of the barge shall be based upon a minimum area under the GZ curve up to the angle of maximum GZ, or to the angle of downflooding if this be less, of not less than 0.08 metre radians.

(5) Where the vertical centre of gravity of the cargo is below the deck at side, the required transverse stability may be determined in terms of the metacentric height in metres. The initial metacentric height at any draft must not be less than that given by the following formula:

$$GM = \frac{kB}{f_e}$$

where $k = .15$

B = Beam in metres

f_e = Effective freeboard $(f + f_a)$ in metres, where

f = freeboard to the deck at side in metres;

f_a = additional freeboard allowance for barges having a structural watertight trunk.

$$f_a = 1.25 \frac{h\ell}{L} \left(\frac{2b}{B} - 1\right) \text{ or } h, \text{ whichever is less.}$$

ℓ = length of trunk in metres
L = overall length of barge in metres
b = breadth of trunk in metres
h = trunk height at side in metres

(6) The intact longitudinal stability of the barge is to be determined in terms of the minimum longitudinal metacentric height (GM_L) within the range of operating drafts and is not to be less than that given by the following formula:

$$GM_L = \frac{.02\ L^2}{d} \text{ metres}$$

where L = overall length of barge in metres
d = draft in metres.

Transports Canada
Développement

Transport Canada
Development

TP 7490F

Évaluation des normes de stabilité pour barges

Rapport sommaire

Préparé pour le
Centre de développement des transports
Transports Canada

par
Robert Allan Ltd.

JUILLET 1984

Canada

CA1
DTC 851
84
A61SZ
c.2

8-00325/

TP 7490F

ÉVALUATION DES NORMES DE STABILITÉ POUR BARGES

Library and Information Centre / Centre de Documentation (GSLA)
RECEIVED - REÇU LE
OCT 5 1987
Transport Canada / Transports Canada

par

Robert L. Fidelman

Robert Allan Ltd.

Juillet 1984

Les opinions et les vues exprimées dans ce rapport sont celles du contractant et ne reflètent pas nécessairement celles du Centre de développement des transports, Transports Canada.

Also available in English under the title: "Appraisal of Barge Intact Stability Standards", TP 7490E.

Transports Canada / Transport Canada
Développement / Development

FORMULE DOCUMENTAIRE DU RAPPORT

1. N° du rapport Transports Canada TP 7490F	2. N° de l'étude — CDT 4273, 4276	3. N° de catalogue du destinataire
4. Titre et sous-titre Évaluation des normes de stabilité pour barges		5. Date du rapport Juillet 1984
		6. N° du rapport de l'organisme exécutant 34-80
7. Auteur(s) Robert L. Fidelman		8. N° de dossier Transports Canada D 1460-160
9. Nom et adresse de l'organisme exécutant Robert Allan Ltd. 1380 Burrard Street Vancouver (Colombie-Britannique) V6Z 2H3		10. N° de dossier — ASC 09SD.T8200-0-0519
		11. N° de contrat — ASC ou Transports Canada 1SD80-00104
12. Nom et adresse de l'organisme parrain Centre de développement des transports (CDT) Complexe Guy-Favreau, 200 ouest, boul. Dorchester Suite 601, tour ouest Montréal (Québec) H2Z 1X4		13. Genre de rapport et période visée Sommaire
		14. Code de l'organisme parrain
15. Remarques additionnelles Sommaire de "Appraisal of Barge Intact Stability Standards", TP 7489E, 1984.		16. Agent de projet — CDT I.M. Bayly

17. Resumé

Après une recherche documentaire sur la question de la stabilité des embarcations en général et des barges en particulier, ce rapport se penche sur les statistiques concernant les naufrages de barges et analyse ceux liés à une perte de stabilité de ces bateaux.

Il établit une comparaison des normes afférentes en vigueur aux Etats-Unis, en Grande-Bretagne et au Canada et analyse les critères sur lesquels elles sont fondées. Il montre aussi qu'un nombre important de barges ne satisfont pas à la norme canadienne provisoire de 1977.

Le rapport conclut que le facteur sécurité en matière de stabilité des barges n'est pas encore justiciable de traitement mathématique exact. Néanmoins, il présente un certain nombre de solutions approchées et met en évidence divers facteurs, telles les voies d'eau non détectées. Il met en doute le besoin de définir dès maintenant une norme de stabilité, le nombre de naufrages attribuables à une perte de stabilité étant faible. Néanmoins, il fixe certains objectifs souhaitables à cette norme, pour l'élaboration de laquelle il suggère une approche en deux temps. Il s'agirait d'abord de réglementer les cas où les conséquences d'un chavirement seraient particulièrement sérieuses. Enfin, il met en évidence les secteurs méritant une recherche plus approfondie.

18. Mots-clés Barges, norme de stabilité.	19. Diffusion Le Centre de développement des transports dispose d'un nombre limité d'exemplaires.

20. Classification de sécurité (de ce rapport) non classifié	21. Classification de sécurité (de cette page) non classifiée	22. Nombre de pages vi, 20 annexe	23. Prix -

Transport Canada / Transports Canada
Development / Développement

REPORT DOCUMENTATION FORM

1. Transport Canada Report No.	2. TDC Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP 7490F	4273, 4276	

4. Title and Subtitle	5. Report Date
Évaluation des normes de stabilité pour barges	July 1984
	6. Performing Organization Report No. 34-80

7. Author(s)	8. Transport Canada File No.
Robert L. Fidelman	D 1460-160

9. Performing Organization Name and Address	10. DSS File No.
Robert Allan Ltd. 1380 Burrard Street Vancouver, B.C. V6Z 2H3	09SD.T8200-0-0519
	11. DSS or Transport Canada Contract No. 1SD80-00104

12. Sponsoring Agency Name and Address	13. Type of Report and Period Covered
Transportation Development Centre (TDC) Guy Favreau Complex, 200 Dorchester Blvd. West Suite 601, West Tower Montreal, Quebec H2Z 1X4	Summary
	14. Sponsoring Agency Code

15. Supplementary Notes	16. TDC Project Officer
Summary of "Appraisal of Barge Intact Stability Standards", TP 7489E, 1984.	I.M. Bayly

17. Abstract

The relevant stability literature is reviewed, both for vessels in general and for barges. Barges casualty records are reviewed and stability-related incidents examined.

A comparison is made of barge stability standards of the United States, Great Britain, and Canada, and their bases analyzed. It is found that a significant number of barges fail to meet the level of the 1977 Canadian Interim Standard.

It is concluded that capsize safety is not yet amendable to accurate mathematical treatment. However, approaches to solutions have been made, and several modes of capsize have been identified. Inadvertent taking on of water may be a contributing factor in some capsizes. Due to the small number of stability related casualties, the need for a Canadian barge intact stability criterion at this time is questioned. However, desirable qualities of such a criterion are given. A two-level approach is suggested. Special consideration is recommended for instances where the consequences of capsize would be severe. Areas for further investigation are set forth.

18. Key Words	19. Distribution Statement
Barges, stability.	Limited number of copies available at Transportation Development Centre.

20. Security Classification (of this report)	21. Security Classification (of this page)	22. No. of Pages	23. Price
Unclassified	Unclassified	vi, 20 annexe	-

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION 1

2. MÉTHODE 1

3. RECHERCHE DOCUMENTAIRE 1
   3.1 Considérations générales sur la stabilité 1
   3.2 Stabilité des barges 2

4. PARC CANADIEN 5

5. SINISTRES 5

6. NORMES DE STABILITÉ 6
   6.1 Indicateurs de stabilité 6
   6.2 Normes nationales 6
      6.2.1 Aux États-Unis 6
      6.2.2 En Grande-Bretagne 7
      6.2.3 Au Canada 7
   6.3 Évaluation des normes nationales 7
      6.3.1 Qualités nautiques 7
      6.3.2 Stabilité initiale - franc-bord 7
      6.3.3 Stabilité statique et dynamique 8
      6.3.4 Critères propres aux armateurs 9

7. CONCLUSIONS 10

8. RECOMMANDATIONS 11

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 19

Annexe Norme canadienne provisoire de stabilité des chalands sans équipage

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Caractéristiques de diverses barges canadiennes	14
Tableau 2	Ventilation des sinistres par type et par année	15

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Bras de redressement en fonction de la gîte	16
Figure 2	Critère du franc-bord et règlements sur les lignes de charge	17
Figure 3	Stabilité dynamique de barges sélectionnées	18

1. INTRODUCTION

Le présent rapport rend compte de la recherche faite à la demande du Centre de développement des transports et dont l'objet, précisé dans l'énoncé des travaux daté du 10 décembre 1980, est le suivant:

> "Fournir le fonds de connaissances théoriques et empiriques sur lequel asseoir la révision des normes de stabilité des barges exploitées au Canada."

2. MÉTHODE

Une recherche documentaire a été lancée, suivie d'un recensement du parc canadien et de la compilation d'une base de données concernant les 400 barges actuellement en exploitation, sur les quelque 850 qui formaient le parc canadien au moment d'aller sous presse.

Les données sur les sinistres proviennent de plusieurs sources, notamment de la Garde côtière canadienne et de la compagnie Robert Allan Ltd.

Enfin, les normes de stabilité adoptées par plusieurs pays, par des organismes comme l'OMI ou autres ont été examinées de près et les critères de stabilité qu'elles préconisent ont été analysés.

3. RECHERCHE DOCUMENTAIRE

3.1 Considérations générales sur la stabilité

Il n'existe pas encore de méthode de calcul généralement admise qui permette de garantir une embarcation contre les risques de chavirement.

Il existe pourtant une méthode déterministe, fondée sur la théorie générale de la houle, qu'un certain nombre de chercheurs ont utilisée pour écrire les équations du mouvement en roulis. Après les avoir résolues, ils ont tenté d'isoler les termes de l'équation à l'origine des instabilités. Cette méthode se heurte cependant à certaines difficultés nées tant des lacunes de la représentation mathématique des systèmes non linéaires couplés que de la méconnaissance des phénomènes physiques en jeu.

Une deuxième approche concerne les variations du moment de redressement d'un bateau en mer; elle a permis de mettre en évidence le danger de chavirement qui guette certains types de bateaux recevant la houle de l'arrière ou à 45° de l'arrière.

Enfin, il y a l'approche de la modélisation dynamique ou "simulation par ordinateur" du comportement d'un bateau dans le temps. La justesse de la simulation dépend de la sélection judicieuse des paramètres d'entrée et du réalisme avec lequel les phénomènes physiques sont appréhendés.

Or, ces trois approches (équations du mouvement, variations du mouvement de redressement et modèles de simulation dynamique) exigent une description statistique précise de l'environnement marin. Pour que cette description soit aussi fiable et fidèle que possible, une surveillance continue de la mer à l'endroit considéré est indispensable.

Poussant plus loin, Odabasi (1) a montré que, bien qu'on ne connaisse pas de résolution explicite de l'équation du mouvement, on peut se faire une idée de la stabilité de sa solution.

3.2 Stabilité des barges

Le problème spécifique de la stabilité des barges a été traité par plusieurs auteurs.

1. Glosten et Heyrman (2)

Ils font observer que:

> "La grande stabilité intrinsèque des barges fait de la recherche de critères adéquats de stabilité une préoccupation quelque peu théorique." Mais, ajoutent-ils, "il est essentiel, pour parer aux cas où une stabilité insuffisante peut poser un problème, qu'il n'y ait pas un relâchement des critères devant garantir la sûreté du voyage."

2. Young (3) et Snyder (4)

Des expérimentations ont été faites à l'Université du Michigan, pour le compte de la Garde côtière des États-Unis, sur des modèles réduits de barge, dans des conditions de houle transversale tant régulière qu'irrégulière. Les résultats étaient en général non concluants.

3. Bovet, Johnson et Jones (5)

Ces auteurs, qui font partie de la Garde côtière des États-Unis (GCEU), ont déclaré que le critère de stabilité adopté par la GCEU en ce qui concerne les barges de transport sur pont révèle une méconnaissance profonde du phénomène de chavirement.

> "Quelle est la relation entre franc-bord et stabilité dans le cas des barges? Quelle valeur de stabilité à l'état intact faut-il retenir? Aucune réponse à ces questions."

4. Kossa (6)

Après avoir passé en revue les critères de la GCEU et de l'OMI, il étudie la question de la stabilité des barges d'un point de vue pratique, même s'il ne propose rien de nouveau.

5. Talbot (7)

Dans son examen théorique des barges de transport sur pont chargées de granulats, l'auteur présente les courbes de bras de redressement qui correspondent à divers cas de chargement théorique, mettant en évidence le rapport inverse qui existe entre la stabilité dynamique et le tirant d'eau.

6. Ward (8)

Traitant de certaines questions relatives aux barges en exploitation sur la côte Ouest du Canada, l'auteur consacre une section à la stabilité, où il fait remarquer:

> "le nombre extrêmement faible de cas de chavirement des barges tant en navigation côtière que hauturière", bien que, ajoute-t-il, "on remarque que quatre (des cinq) barges satisfont à la norme américaine, qu'aucune ne satisfait complètement à la norme britannique et que trois seulement satisfont à la norme provisoire canadienne."

7. Ward (9)

Dans un mémoire subséquent, l'auteur donne les courbes de bras de redressement de quatre barges, dont deux qui n'ont pas satisfait à la norme provisoire canadienne.

8. Hutchison (10)

Dans l'annexe 1 de cet ouvrage, l'auteur analyse le voyage prévu d'une barge depuis la Virginie jusqu'à l'Oregon, les principaux éléments pris en compte étant: l'itinéraire, les états de mer et régimes de houle probables, les qualités nautiques du personnel et le comportement du bateau. Les résultats sont exprimés en valeurs de probabilité de dépassement de certains seuils.

9. Jones et Turner (11)

Ils font observer que:

> "Dans le cas des navires, les normes de stabilité ont été fondées sur une analyse des sinistres survenus, et que, dans le cas des barges, cette méthode est inutilisable étant donné que, autant qu'on puisse savoir,il n'y a pas eu de sinistres ou, du moins, pas en nombre suffisant pour servir d'assise à l'élaboration de normes adéquates."

10. Szajnberg, Greiner, Chen et Rawstron (12)

Les auteurs traitent de diverses questions concernant le transport par barges de plates-formes de forage en mer et donnent les caractéristiques de 20 barges de grande taille. Ils mettent en évidence les exigences de diverses instances réglementaires et comparent les normes fondées sur la force du vent. Ils font remarquer la grande sensibilité de certains critères aux vitesses présumées du vent.

11. Hutchison et Nichol (13)

Comme suite au mémoire présenté par Hutchison (10), une barge a été instrumentée de manière à permettre le suivi de son comportement tout au long du voyage. Les valeurs enregistrées par les divers accéléromètres étaient transmises au poste de pilotage du remorqueur pour permettre le suivi en temps réel des mouvements de la barge. Les auteurs déclarent que ce système de suivi "semble avoir grandement contribué à la réduction de l'amplitude des mouvements...".

4. PARC CANADIEN

Le tableau 1 présente une trentaine de barges canadiennes. En principe, leur stabilité devrait être d'autant plus grande que les rapports longueur-largeur, port en lourd-déplacement, tirant d'eau-creux (autrement dit un franc-bord accru) et le coefficient de remplissage C_b sont faibles et que le rapport largeur-creux est élevé.

5. SINISTRES

Les statistiques concernant les naufrages de barges ont été fournies par la Garde côtière canadienne. Le tableau 2 en dresse la liste par année et par type. Aucune conclusion définitive ne peut être avancée en raison des omissions, imprécisions et incohérences qui caractérisent les données.

Deux constatations s'imposent au regard des 15 sinistres dus à une perte de stabilité. D'abord, le nombre directement attribuable à un envahissement d'eau; il y en a eu au moins six et, sur le nombre restant, l'envahissement d'eau a pu être un facteur contributif.

Ensuite, les barges qui ont chaviré étaient pour la plupart passablement vieilles, l'âge moyen au moment du sinistre étant de 15 ans. Compte tenu des conditions rigoureuses de service, ce facteur renforce l'hypothèse voulant qu'il y ait eu envahissement d'eau, soit par des voies d'eau non détectées, soit par une rupture localisée d'un élément de structure.

Les enquêtes faites auprès des entreprises de construction, d'exploitation et de réparation de barges ont permis de dégager le consensus que la plupart des cas de chavirement, sinon tous, sont attribuables à la pénétration d'eau.

6. NORMES DE STABILITÉ

6.1 Indicateurs de stabilité

Pratiquement tous les paramètres de stabilité initiale d'un navire sont liés à l'allure de la courbe du bras de redressement (ou courbe GZ) qui le caractérise et qui représente les conditions de stabilité statique (voir figure 1).

La hauteur métacentrique (ou GM) sert depuis le XVIII^{e} siècle à caractériser la stabilité d'un navire (14). Elle exprime la condition de stabilité initiale puisqu'elle indique l'aptitude du navire à se redresser, c'est-à-dire à contrecarrer les moments de chavirement.

La stabilité dynamique e_r est représentée par l'aire sous-tendue par la courbe GZ jusqu'à l'angle limite θ_m qui est l'angle où GZ est à son maximum. Cette aire correspond au travail maximal qui peut être appliqué sans qu'il y ait chavirement.

La stabilité initiale GM, la stabilité statique GZ et la stabilité dynamique e_r gouvernent donc l'aptitude d'un navire à résister au chavirement.

D'autres modes d'expression de la stabilité sont en voie d'élaboration. Ils sont fondés sur une approche probabiliste de cette question. Citons, à titre d'exemple, la probabilité de chavirement pendant la vie du navire, disons 20 ans, ou durant un voyage donné. La probabilité qu'un angle d'inclinaison donné puisse être dépassé, soit pendant la vie du navire, soit pendant un voyage donné, constitue une deuxième approche. L'inconvénient de ces méthodes est la lourdeur des calculs à effectuer. À supposer que les moyens techniques pour effectuer ces calculs soient disponibles, il resterait à déterminer ce qui constitue un niveau de risque acceptable.

6.2 Normes nationales

Des normes de stabilité concernant les barges ont été adoptées par les États-Unis (15) et la Grande-Bretagne (16); le Canada n'a publié qu'une norme provisoire (17).

6.2.1 Aux États-Unis

La garde côtière de ce pays se base sur une norme en deux volets pour déterminer la stabilité des barges. Le premier volet, axé sur les qualités nautiques, impose un minimum de

hauteur métacentrique; le deuxième, sur la stabilité dynamique, stipule une stabilité dynamique minimale de 15 p.degré (0,0798 mètre-radian) jusqu'à l'angle où GZ est à son maximum.

6.2.2 En Grande-Bretagne

À l'instar des États-Unis, la Grande-Bretagne applique une norme (16) où la stabilité dynamique est prise en considération en même temps que l'influence de la charge due au vent, la pression exercée par l'air étant normalisée à 75 kg/m^2.

Cette norme stipule que la courbe GZ doit sous-tendre une aire de 0,08 mètre-radian jusqu'à l'angle où GZ est à son maximum et de 0,03 mètre-radian entre 30 et 40 degrés, ou jusqu'à l'angle d'envahissement si celui-ci est inférieur à 40°.

6.2.3 Au Canada

La norme canadienne provisoire s'applique aux barges construites après le 1er septembre 1977 et assujetties aux règlements sur les lignes de charge (17). Elle stipule une stabilité dynamique minimale de 0,08 mètre-radian jusqu'à l'angle où GZ est à son maximum. Les normes américaine et canadienne sont à toutes fins pratiques identiques.

6.3 Évaluation des normes nationales

Les normes précitées appartiennent à deux groupes: celui qui impose un minimum de stabilité initiale (GM) ainsi que des critères sur les qualités nautiques et de franc-bord, et celui qui stipule un minimum de stabilité dynamique e_r.

6.3.1 Qualités nautiques

Le critère de qualité nautique adopté par la Garde côtière des États-Unis affiche un bon degré de cohérence, les termes de l'équation correspondante étant sensiblement représentatifs de la réalité. Le critère britannique est plus strict quant aux qualités nautiques des barges ayant moins de 186 m de longueur.

6.3.2 Stabilité initiale - franc-bord

La figure 2 illustre le critère de stabilité initiale-franc-bord des normes canadienne et américaine. Ce critère se résume, en fait, à la notion de franc-bord. La figure 2 donne les valeurs minimales de franc-bord pour des valeurs données de D (creux) et de B/D (rapport largeur/creux). Il est utile de comparer ces valeurs de franc-bord avec celles

qui sont stipulées dans les réglements sur les lignes de charge (18), lesquelles sont en tiretés.

Il ressort de cette figure que les barges de faibles dimensions sont régies par le critère de franc-bord, tandis que celles de fortes dimensions ressortissent plutôt aux réglements sur les lignes de charge.

6.3.3 Stabilité statique et dynamique

La courbe GZ du bras de redressement est devenue le critère accepté en matière de stabilité statique depuis la thèse formulée par Rahola (19). Ce critère présente toutefois de nombreux inconvénients, les plus importants étant les suivants:

1. Il est fondé sur un échantillonnage statistique et non pas sur des relations physiques bien définies. Les extrapolations qui en découlent sont donc entachées de doute.

2. Il s'appuie sur la courbe des bras de redressement et non sur celle des moments de redressement, ce qui ne serait admissible que si tous les moments de chavirement étaient réputés proportionnels au déplacement, ce qui n'est pas le cas.

3. La probabilité de chavirement admissible n'est pas définie. Les critères retenus comportent des facteurs de sécurité implicites qui ne sont cependant pas précisés noir sur blanc.

Examinons les critères de stabilité dynamique prévus dans les trois normes nationales précitées et qui, toutes trois, stipulent une aire minimum de 0,08 mètre-radian jusqu'à l'angle d'inclinaison maximale. Voyons comment ce critère se traduit dans la réalité. Pour cela, les valeurs de GZ et de e_r ont été calculées pour chacune des barges citées dans le tableau 1 et reprises dans la figure 3. On remarque de cette dernière le grand nombre d'embarcations qui ne satisfont pas au critère minimum de 0,08 mètre-radian. Deux remarques s'imposent:

1. L'échantillonnage proposé comporte un assortiment de barges qui, si celles-ci étaient regroupées selon le type, ne serait pas représentatif du parc canadien. Ce dernier, en toute probabilité, comporterait une plus forte proportion d'embarcations hors norme.

2. La norme américaine et la norme provisoire canadienne ne s'appliquent qu'aux barges assujetties aux règlements sur les lignes de charge. La norme britannique en fait abstraction.

Dans ces trois normes nationales, seule l'américaine prend en compte l'accroissement possible de stabilité attribuable au fret transporté sur le pont, l'influence bénéfique des pontées "flottables" sur la stabilité ayant été pourtant clairement reconnue par l'OMI (20).

6.3.4 Critères propres aux armateurs

Certains armateurs appliquent leurs propres normes de stabilité. Ainsi, un certain nombre de barges transportant des copeaux comportent des plaques d'acier soudées aux quatre hanches de la coque, sur lesquelles sont repérées les marques de franc-bord. Le bord inférieur des plaques délimite le franc-bord minimum pour la navigation en mer, sur la côte ouest de l'île de Vancouver, par exemple, tandis que le bord supérieur délimite le franc-bord pour la navigation dans les eaux abritées du détroit de Géorgie.

Les armateurs se fient à leur longue expérience pour juger de la stabilité de leurs barges; ils connaissent en effet l'influence néfaste sur la stabilité des chargements de vrac présentant un profil en pointe. Ils savent aussi que ces chargements ne doivent pas présenter de creux où l'eau pourrait s'accumuler.

Pour leur part, les patrons de remorqueurs, bien qu'ils n'aient pas forcément une formation théorique sur les conditions d'équilibre, possèdent néanmoins une longue expérience qui leur permet de juger à bon escient.

Pour ce qui est des barges de ravitaillement en mer, il est souvent fait appel à un architecte naval pour en analyser la stabilité, car, en navigation hauturière, l'exploitant doit se protéger contre les risques d'un chavirement dont les conséquences peuvent être particulièrement graves, et parfois même contre les risques d'une trop grande stabilité.

7. CONCLUSIONS

1. La norme de stabilité doit fixer une limite supérieure aux risques de chavirement en fonction des caractéristiques d'un navire, des conditions de navigation et de la durée considérée.

2. Il n'existe pas encore de méthode sûre permettant de calculer ces risques, ni de norme définissant les risques admissibles de chavirement.

3. L'amortissement du roulis est un important facteur de sécurité en matière de stabilité. Les coefficients d'amortissement ne sont pas en relation linéaire avec l'angle de roulis.

4. La présence d'eau sur le pont est un important facteur d'instabilité.

5. Le poids, la nature et l'arrimage des pontées ont une profonde influence sur la stabilité.

6. La fréquence des chavirements signalés au Canada est faible: en sept ans, 15 cas sur quelque 850 barges au Canada. Les conséquences en sont souvent moins graves que dans le cas d'un navire et, de plus, une barge retournée est souvent redressée.

7. Dans les statistiques de chavirement compilées par le ministère des Transports, certains détails importants manquent, comme la largeur, le creux, le tirant d'eau, le poids du fret transporté et le centre de gravité de ce fret.

8. Actuellement, les normes de stabilité concernant les barges sont fondées sur le moment de chavirement sous l'action du vent et sur des valeurs minimums de stabilité initiale GM et dynamique e_r.

9. La fixation d'une valeur minimum de stabilité initiale GM ne constitue pas, à elle seule, un facteur de sécurité suffisant.

10. La norme provisoire canadienne en vigueur risque de pénaliser certains types de barges en réduisant la quantité de fret qu'elles seront admises à transporter.

11. Les grandes compagnies de transport par barges se fient à leur longue expérience pour garantir la sécurité de

leurs opérations. Les connaissances ainsi acquises peuvent trouver une application tacite ou une formulation explicite.

8. RECOMMANDATIONS

1. Il y a lieu d'étudier plus avant la nécessité d'établir une norme canadienne sur la stabilité des barges. La raison en est que la plupart des sinistres qui ont lieu touchent des barges non assujetties à la réglementation sur les lignes de charge, donc, des barges qui de toute façon échappent à la norme en vigueur tant au Canada qu'aux États-Unis.

2. À supposer qu'une telle norme soit souhaitable, il resterait à déterminer jusqu'à quel point pousser sa complexité. On sait que, pour être à la fois complète et flexible, il faut qu'elle soit complexe. Par contre, pour qu'elle soit facilement applicable par le personnel d'exploitation des barges, il faut maintenir la complexité dans des limites acceptables.

   Une solution serait d'avoir une norme à deux niveaux d'application. Un niveau pour les bureaux d'étude et d'analyse, les architectes navals, par exemple, et un niveau où des directives simples seraient prévues à l'intention des armateurs et de leur personnel. Les qualités inhérentes à chaque niveau devraient être les suivantes:

   Premier niveau

   a. Cohérence, c'est-à-dire norme basée sur une connaissance profonde des phénomènes en jeu.

   b. Explicitation des hypothèses et des limites prises en compte.

   c. Révision périodique. Définition des probabilités de chavirement admissibles.

   d. Prise en compte de tous les facteurs dont on sait qu'ils ont une grande influence sur la stabilité. Outre la stabilité initiale et le moment de redressement, il y a l'influence de l'eau sur le pont ou

dans la cale, des pontées et de l'amortissement du roulis.

e. Les critères retenus devraient prémunir contre les diverses causes de chavirement: hauteur métacentrique égale ou inférieure à zéro, perte du moment de redressement au sommet de la houle, roulis en résonance et moment de chavirement dû aux surfaces liquides libres sur le pont ou dans la cale.

f. Les valeurs de stabilité stipulées dans la norme ne doivent pas être supérieures aux valeurs empiriques déjà réputées suffisantes.

Deuxième niveau

a. Définition précise de la portée. Explicitation des limites d'application des critères imposés: type ou taille de barge, nature du fret, arrimages, zone de navigation, saison de l'année, etc.

b. Contrôle facile par le personnel des paramètres quantitatifs à respecter.

c. Procédures d'application simples, aisées et rapides.

3. Les voyages où les conséquences d'un chavirement seraient particulièrement graves devraient faire l'objet de critères particuliers.

4. Les secteurs nécessitant de plus amples recherches sont les suivants:

a. L'effet des forces de remorquage sur la stabilité de la barge.

b. L'effet de la présence intempestive d'eau à bord.

c. Les coefficients d'amortissement aux angles de roulis élevés.

d. Recensement plus complet des barges en exploitation du point de vue de leur stabilité initiale, y compris la détermination de leur courbe de moments de redressement.

e. L'effet de la présence d'eau sur le pont en fonction des types de barges et de la nature du fret.

f. L'utilité de calculer les moments de redressement en mer agitée plutôt que calme.

g. L'effet des manoeuvres sur les caractéristiques de stabilité.

h. L'effet d'une trop grande stabilité. Par exemple, les accélérations risquent-elles d'atteindre des valeurs trop élevées?

Tableau 1 Caractéristiques de diverses barges canadiennes (source: Robert Allan Ltd.)

BARGE N°	TYPE	FRET	CARACTÉRISTIQUES						
			LONGUEUR HORS TOUT	LARGEUR	CREUX	TIRANT D'EAU	PORT EN LOURD (t)	DÉPLACEMENT (t)	KG (m)
1	Pont	Bois en grume	138,13	29,26	8,23	6,10	17 374	21 398	13,62
2	Pont	Bois en grume	120,78	26,82	7,62	5,79	12 941	16 101	12,81
3	Pont	Bois en grume	110,64	24,38	7,32	5,67	10 727	13 191	11,22
4	Pont	Bois en grume	110,95	24,38	7,01	5,16	9 898	12 001	11,18
5	Pont	Bois en faisceau	107,66	24,00	7,00	5,35	9 437	11 887	9,43
6	Pont	Bois en grume	112,47	23,16	7,16	5,18	9 246	11 679	10,35
7	Pont	Bois en grume	105,19	21,34	6,55	5,03	7 849	9 779	9,58
8	Pont	Calcaire	109,05	24,38	7,62	6,02	11 532	13 592	8,78
9	Pont	Calcaire	109,73	22,86	7,62	5,58	9 784	11 807	8,95
10	Pont	Calcaire	57,91	15,24	4,27	3,51	2 267	2 772	5,99
11	Citerne	Pétrole	82,30	18,29	6,10	4,88	4 927	6 004	3,66
12	Citerne	Produits chimiques	83,06	19,51	6,71	4,57	4 580	5 950	3,75
13	Pont couvert	Papier journal	110,64	24,99	6,78	4,57	6 533	9 073	9,00
14	Pont couvert	Papier journal	109,12	24,99	6,78	4,57	6 533	9 156	8,81
15	Pont couvert	Papier journal	108,51	23,77	6,71	4,34	6 096	8 511	8,72
16	Pont couvert et à trémie	Ciment	50,75	14,63	4,57	3,35	1 560	2 127	5,98
17	Pont couvert	Pâte à papier	61,57	14,63	3,66	2,59	1 376	1 923	5,34
18	Pont	Sel	88,39	20.73	6,76	5,08	6 893	8 026	8,88
19	Pont	Vrac	63,40	16,46	5,18	4,66	3 628	4 284	7,52
20	Pont	Sable-calcaire	65,84	17,07	4,88	3,73	3 225	3 855	7,35
21	Pont	Granulats	60,96	15,24	2,95	2,27	1 450	1 909	3,66
22	Trémie	Scories	80,16	18,90	6,10	4,74	4 785	6 268	5,50
23	Trémie	Ciment	57,91	14,02	4,88	3,66	2 118	2 590	4,55
24	Pont	Wagons	103,33	19,51	5,03	2,44	2 866	4 303	6,10
25	Pont	Wagons	80,47	14,02	3,96	2,44	1 632	2 174	5,40
26	Pont	Copeaux	63,09	15,24	3,66	3,11	2 311	2 768	7,14
27	Pont	Copeaux	63,58	15,24	3,66	3,11	2 307	2 827	7,05
28	Pont	Copeaux	53,34	14,63	3,43	2,92	1 768	2 132	6,96
29	Pont	Copeaux	51,21	14,02	3,28	2,80	1 560	1 888	6,69
30	Pont	Marchandise générale	60,96	14,63	2,95	1,83	1 425	1 767	4,72

Tableau 2 Ventilation des sinistres par type et par année

NATURE DU SINISTRE	75	76	77	78	79	80	81	82	TOTAL
Abordage	5	7	7	9	13	10	15	5	71
Échouage	4	2	2	3	2	2	13	2	30
Naufrage	2	1	4	5	1	5	5	0	23
Perte de stabilité	4	2	2	1	2	0	3	1	15
Incendie, explosion	0	0	3	0	0	1	1	1	6
Avarie due aux intempéries ou aux glaces	0	1	0	1	0	1	2	0	5
TOTAL	15	13	18	19	18	19	39	9	150

Remarque: La période visée va du 8 février 1975 au 7 juin 1982.
Source: Garde côtière canadienne, Transports Canada.

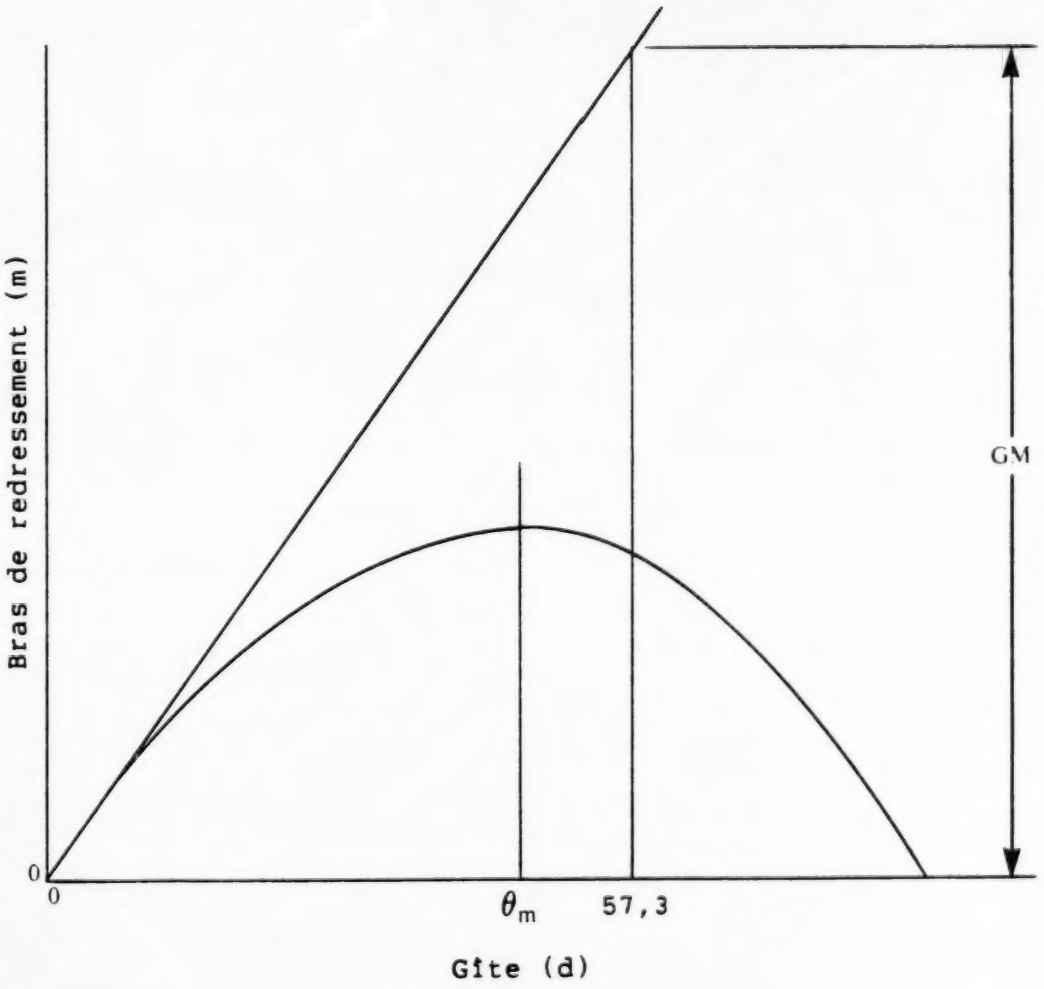

Figure 1 Bras de redressement en fonction de la gîte

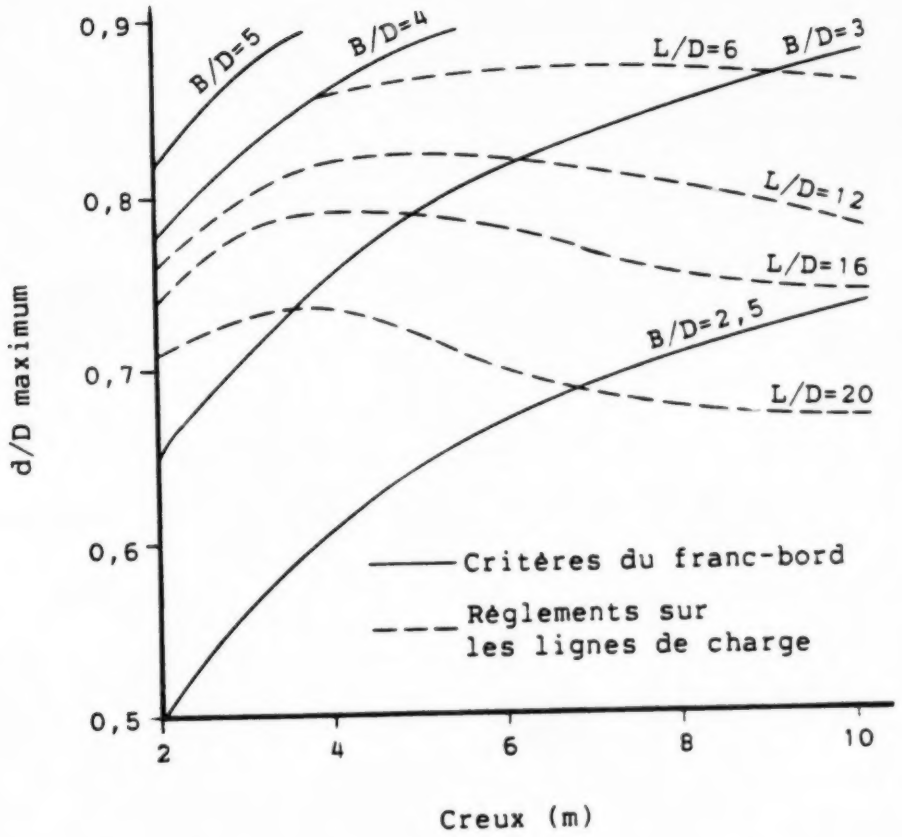

Figure 2 Critère du franc-bord et règlements sur les lignes de charge

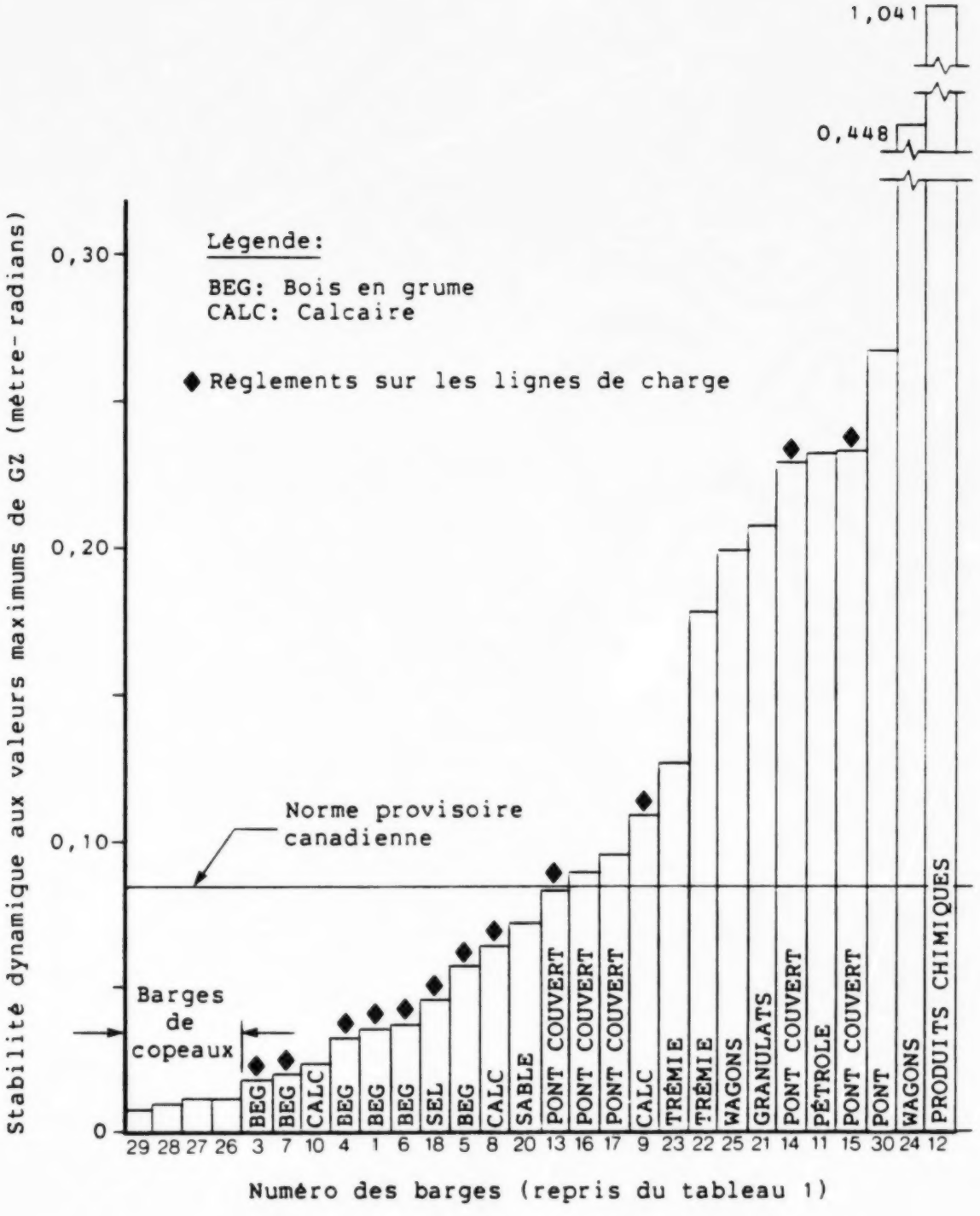

Figure 3 Stabilité dynamique de barges sélectionnées

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Odabasi, A.Y., Ultimate Stability of Ships, Transactions, The Royal Institution of Naval Architects, vol. 119, 1977.

2. Glosten, L.R., Heyrman, J.S., Offshore Barge Transportation on the Pacific Coast, Transactions, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, vol. 73, 1965.

3. Young, Bernard J., The Behavior of a Deck Cargo Barge in Extreme Beam Seas, U.S. Coast Guard, Washington, mars 1972.

4. Snyder, Eric D., An Investigation of Deck Cargo Barge Stability in Extreme Irregular Beam Seas, U.S. Coast Guard, Washington, février 1974.

5. Bovet, D.M., Johnson, R.E., Jones, E.L., Recent Coast Guard Research into Vessel Stability, Marine Technology, vol. 11, No 4, octobre 1974.

6. Kossa, Miklos M., Stability and Roll Motions of Ocean Barges, 4th International Tug Convention, Thomas Reed Industrial Press Ltd., Londres, 1976.

7. Talbot, W.E.G., Forsyth, D.G., Stability of Aggregate Barges, B.C. Towboat Conference, Victoria, C.-B., 18 mars 1978.

8. Ward, Thomas C., The Ubiquitous Barge: Some Trends in Barge Design and Construction in British Columbia, Marine Technology, vol. 17, No 1, janvier 1980.

9. Ward, Thomas C., The Other End of the Towline: A Review of Current Thinking in Barge Design and Construction, Fourth B.C. Towboat Industry Conference, Victoria, C.-B., 20-23 mars 1980.

10. Hutchison, Bruce L., Risk and Operability Analysis in the Marine Environment, Transactions, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, vol. 89, 1981.

11. Jones, J. Mervyn, Turner, J.E., Assessment of Intact Stability of Cargo Barges, 7th International Tug Convention, Thomas Reed Publications Ltd., Londres, 1982.

12. Szajnberg, Rubin, Greiner, William, Chen, Henry H.T., Rawstron, Philip, Practical Design Approaches for the Analysis of Barge Performance in Offshore Transportation and Launching Operations, Transactions, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, vol. 88, 1980.

13. Hutchison, Bruce L., Nichol, Robert E., Experience with Real-Time Motion Monitoring on the Barge "Foss 245", Marine Technology, vol. 20, No 1, janvier 1983.

14. Bird, H., Odabasi, A.Y., State of Art: Past, Present and Future, International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles, University of Strathclyde, Glasgow, 1975.

15. Stability Criteria for Barges, Merchant Marine Technical Note No. 3-69, U.S. Coast Guard, Washington, 21 novembre 1969.

16. Stability of Pontoon Barges, Marine Division Memorandum No. PO/S 87/80, Department of Trade, Londres, octobre 1980.

17. Norme provisoire pour la stabilité à l'état intact des chalands à marchandises non armés en hommes, Garde côtière canadienne, Ottawa, 15 septembre 1977.

18. Réglements sur les lignes de charge, Loi sur la marine marchande du Canada, Statuts consolidés du Canada.

19. Rahola, J., The Judging of the Stability of Ships and the Determination of the Minimum Amount of Stability, thèse de doctorat, Université de Finlande, Helsinki, 1939.

20. Recommendation on Intact Stability for Passenger and Cargo Ships Under 100 metres in Length, Inter-Governmental Maritime Consultative Organization, Londres, 1975.

ANNEXE Norme canadienne provisoire de stabilité des chalands sans équipage

NORME: STAB. 8

NORME PROVISOIRE POUR LA STABILITÉ À L'ÉTAT INTACT DES CHALANDS À MARCHANDISES NON ARMÉS EN HOMMES

1) Les dispositions de la présente norme s'appliquent aux chalands à marchandises sans équipage:

   (i) auxquels doivent être assignées des lignes de charge en vertu de la norme CHARGE 2; et

   (ii) construits après le 1er septembre 1977.

2) Cette norme ne s'applique pas aux chalands à grue, à mât de charge ou à clapets.

3) Sauf exemption du Bureau, le propriétaire d'un chaland neuf doit:

   (i) faire effectuer un essai de stabilité en présence et à la satisfaction d'un expert maritime;

   (ii) présenter au Bureau les données relatives à la stabilité pour les conditions de marche du chaland, notamment les conditions à l'état lège, à l'état de charge et dans les conditions les plus défavorables; et

   (iii) inclure dans les documents soumis pour la stabilité, les données de base qu'exige l'article 2 de la norme STAB. 2.

4) Sauf indication contraire prévue à l'article 5 de la présente norme, la stabilité transversale à l'état intact du chaland sera fondée sur une aire minimale sous-tendue par la courbe GZ jusqu'à l'angle où GZ atteint son maximum ou jusqu'à l'angle d'envahissement si celui-ci est moindre, de 0,08 mètre-radian au moins.

5) Lorsque le centre de gravité vertical de la cargaison est au-dessous de l'intersection du pont et du bordé, la stabilité transversale requise peut être déterminée en termes de hauteur métacentrique en mètres. La hauteur métacentrique initiale GM pour un tirant d'eau quelconque ne doit pas être inférieure à celle que donne la formule suivante:

$$GM = \frac{kB}{f_e}$$

où $k = 0,15$

B = largeur en mètres

f_e = franc-bord effectif ($f + f_a$) en mètres, où

f = franc-bord jusqu'au pont en abord en mètres;

f_a = tolérance supplémentaire pour le franc-bord pour les chalands ayant un tambour structural étanche.

$$f_a = 1{,}25 \frac{h\ell}{L} \left(\frac{2b}{B} - 1\right) \text{ ou } h, \text{ si cette dimension est moindre.}$$

ℓ = longueur du tambour, en mètres
L = longueur hors tout du chaland en mètres
b = largeur du tambour en mètres
h = hauteur du tambour en abord en mètres

6) La stabilité dans le sens longitudinal du chaland à l'état intact doit être déterminée en fonction de la hauteur métacentrique minimale dans le sens longitudinal (GM_L) pour le tirant d'eau du navire en service et ne doit pas être inférieur à celle que donne la formule suivante:

$$GM_L = \frac{0{,}02\ L^2}{d} \text{ mètres}$$

où L = longueur hors du chaland en mètres
d = tirant d'eau en mètres.